

DISEÑO E INSTALACIÓN DE LOS SELLOS PASIVOS SHIELD® PARA C.N. ASCÓ Y C.N. VANDELLÓS II

La instalación de los Sellos pasivos SHIELD® ha supuesto un hito en la mejora de los niveles de seguridad de las plantas de ANAV al haberse manifestado en una reducción significativa en la Frecuencia de Daño al Núcleo (FDN). Así, además de ser la primera *utility* europea en incorporar dicha mejora, la colaboración de ANAV y Westinghouse corrobora el compromiso con la seguridad en sus plantas nucleares.

INTRODUCCIÓN

Las Bombas de Refrigerante del Reactor (BRR) de Westinghouse están diseñadas para circular agua a través del Sistema Refrigerante del Reactor a aproximadamente 300°C y 155 bares. Mientras la sección hidráulica de la bomba está diseñada para operar en este ambiente, los cojinetes y los sellos se deben mantener a temperaturas inferiores para una operación continua. Este requisito se establece debido a las propias limitaciones inherentes a los materiales y al deseo de evitar flujo bifásico intermitente entre las caras de los sellos. Las Bombas del Refrigerante del Reactor de Westinghouse están normalmente restringidas a la operación con una temperatura por debajo de 115°C en los cojinetes y sellos, la cual se mantiene mediante un flujo constante de agua desde el Sistema de Control Químico y Volumétrico.

Durante la operación normal de la planta, el Sistema de Control Químico y Volumétrico proporciona un flujo continuo de agua de refrigeración filtrada a un caudal nominal de 1800 l/h. Aproximadamente 600 l/h recorren el paquete de sellos y el flujo restante se desplaza hacia abajo a

través de la bomba hasta el Sistema de Refrigerante del Reactor. El agua que entra en el paquete de sellos pasa a través de la primera etapa de los mismos, disminuyendo aproximadamente 3 bares de presión, y se devuelve al Sistema de Control Químico y Volumétrico mediante la tubería de retorno correspondiente. La segunda y tercera etapas experimentan una presión diferencial significativamente menor cada una y niveles de fuga despreciables.

Se proporciona una capacidad de refrigeración redundante a los internos superiores de la bomba mediante un intercambiador de calor integral conectado al Sistema de Refrigeración de Componentes independiente. Se pueden mantener unas temperaturas operacionales en los sellos bien mediante la inyección de agua (como por ejemplo la inyección a sellos) o bien refrigerando las fugas del sistema de refrigerante del reactor con el intercambiador de calor de la barrera térmica. En caso de que la inyección a sellos y la refrigeración mediante la barrera térmica se interrumpen simultáneamente, la salida del Sistema de Refrigerante del Reactor (RCS) ocasionaría en los sellos

COSME MUÑOZ

Jefe de Proyectos en el Departamento de Proyectos, Programas y Materiales en la Dirección de Servicios Técnicos
ASOCIACIÓN NUCLEAR
ASCÓ-VANDELLÓS II
Ingeniero industrial especialidad Técnicas Energéticas.

MICHAEL LAPRESTI

Senior Design Engineer
WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY
Bachelor of Science degree in Mechanical Engineering and Professional Engineer in Pennsylvania.

SERGI VILANOVA

Jefe de Proyecto
WESTINGHOUSE TECHNOLOGY SERVICES
Ingeniero Técnica Mecánica.

JUAN ANTONIO SANTANA

Ingeniero mecánico de Sistemas NSSS
WESTINGHOUSE ELECTRIC SPAIN
Ingeniero industrial mecánico.

FRANCISCO JOSÉ GUTIERREZ

Customer Account Engineer
WESTINGHOUSE
Ingeniero industrial y Máster MBA.

VICENTE NOS

Manager del APS
WESTINGHOUSE
Licenciado en Química Industrial, diplomado en Ingeniería Nuclear y MBA.

DESIGN & INTALLATION OF THE SHIELD® SHUTDOWN SEAL IN ASCÓ NPP AND VANDELLÓS II NPP

Installation of the SHIELD® Shutdown Seal has enhanced safety at ANAV nuclear power plants. The magnitude of safety enhancement is demonstrated by the meaningful reduction in core damage frequency (CDF) resulting from implementation of the shutdown seal. Additionally, ANAV is the first utility in Europe to acquire this improvement, with the collaboration between ANAV and Westinghouse further reinforcing the commitment to Nuclear Safety.

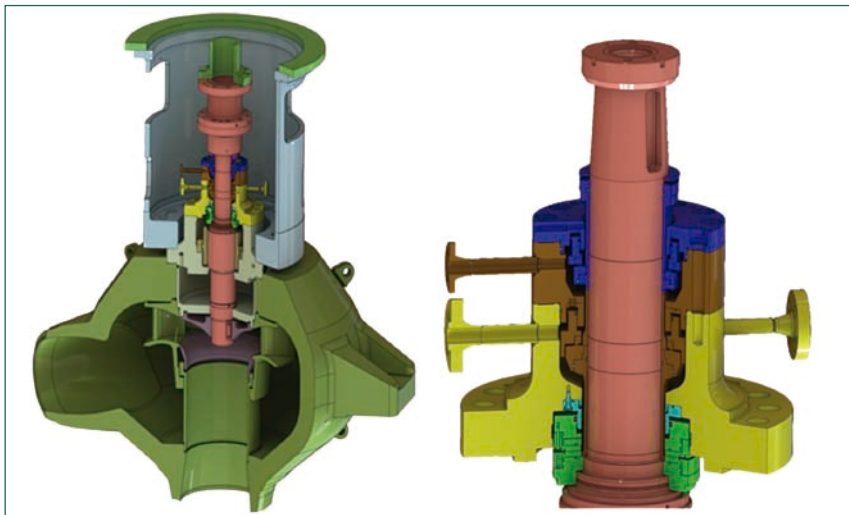


Figura 1. Bomba de Refrigerante del Reactor de Westinghouse Modelo 93D y paquete de sellos.

a temperaturas elevadas. En dichas condiciones, el agua a alta temperatura podría causar una deformación termoelástica de la primera etapa de los sellos que permitiría niveles de fugas elevados en los sellos. En el peor caso, la fuga de sellos de las BRR puede producir un volumen significativo de pérdidas de inventario del RCS que podría dar lugar a descubrir el núcleo y a daños en el combustible.

Según el Análisis Probabilístico de Seguridad (APS), se ha demostrado que los “sucesos de pérdida de refrigeración de sellos” normalmente representan una contribución considerable al riesgo final de daño al núcleo en muchas plantas. Para mitigar este riesgo, Westinghouse ha

desarrollado los sellos SHIELD® (*Passive Thermal Shutdown Seal*). El sello SHIELD® es un dispositivo pasivo que se activa térmicamente y que limita las fugas a sellos a niveles despreciables en el suceso de una pérdida total de refrigerante de los sellos. El SHIELD® está diseñado para reemplazar el inserto del sello número 1 e incluye un actuador térmico junto con un mecanismo de sellado que se activa con altas temperaturas de la salida de fugas del sello. El SHIELD® está ubicado inmediatamente aguas abajo de la primera etapa del sello de tal manera que cuando está instalado, tanto la tubería de retorno del sello como la segunda etapa de los sellos están completamente protegidas (Figura 2).

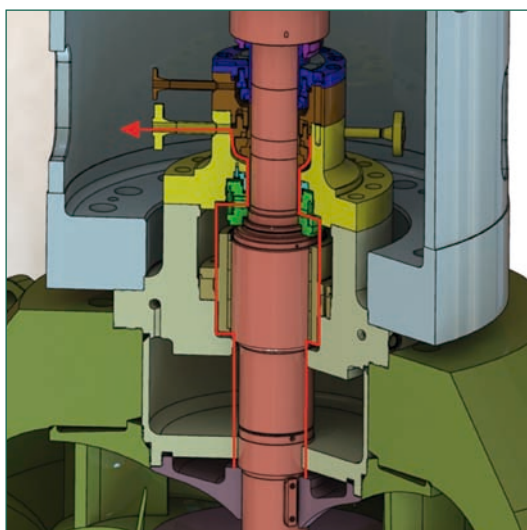


Figura 2. Localización del sello SHIELD® de sellos.

DISEÑO DEL SELLO PASIVO SHIELD®

El conjunto del SHIELD® consiste en un actuador térmico, un anillo de pistón partido, un anillo de sellado de polímero sólido y un muelle ondulado que se encaja en una modificación del sello número 1 y contenido por un anillo de retención por contracción (Figura 3). Si la refrigeración de los sellos es interrumpida, el actuador térmico se activaría a aproximadamente 150°C mediante un cambio de fase de un elemento termosensible. El actuador se retrae de entre los extremos de tope del anillo de pistón partido, permitiendo que dicho anillo se cierre a presión y forme un sello inicial contra el eje de la bomba. El anillo de pistón crea una resistencia hidráulica, que a su vez comprime el anillo de sellado de polímero sólido contra el eje de la bomba creando el sellado hermético final. En estas condiciones, el sello limita la fuga de por debajo de 227 l/h, a menos de 1 l/h.

La eficacia del sello SHIELD® se ha demostrado mediante pruebas exhaustivas y experiencia operativa. Dichas pruebas de cualificación se llevaron a cabo en laboratorios de Westinghouse e incluyeron más de 100 ensayos de actuación a escala real demostrando que el diseño es compatible con todos los factores ambientales, incluyendo la química del agua del reactor, radiación, deposición de productos de corrosión, cargas sísmicas, vibraciones y fluctuaciones de presión y temperatura. Las pruebas de resistencia, que totalizan más de 10.000 horas, han demostra-

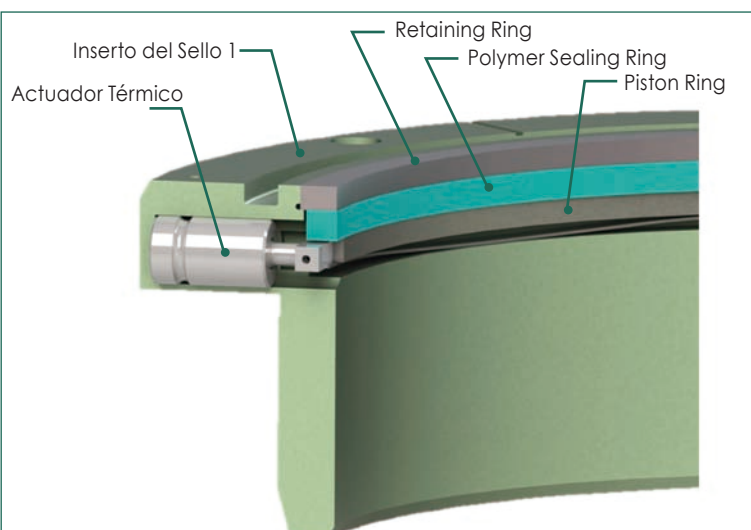


Figura 3. SHIELD® Shutdown Seal Diagram.



Figura 4. SHIELD®.



Figura 5. Comprobaciones iniciales.

do que el sello SHIELD® limita de manera fiable las fugas del sello a niveles insignificantes durante 168 horas a una temperatura de hasta 300°C y 155 bares de presión. Adicionalmente, en octubre de 2015, se retiró un SHIELD® de una BRR de la Unidad 2 de la central de Beaver Valley cerca de Pittsburgh (Pennsylvania), examinándose posteriormente en el Centro de Ciencia y Tecnología de Westinghouse, y demostrando la robustez diseño y compatibilidad con el entorno instalado.

El sello pasivo térmico SHIELD® ha sido aprobado por la NRC y ha acumulado más de 1 millón de horas de operación satisfactoria en más de 80 BRR en todo el mundo.

INSTALACIÓN DE LOS SELLOS EN C.N. ASCÓ Y C.N. VANDELLÓS II

El conjunto SHIELD® ha sido instalado satisfactoriamente en las BRR de la

Unidad II de C.N. Ascó y en la C. N. de Vandellós II.

Debido a las diferencias en los modelos de las bombas de ambas plantas el procedimiento a seguir para la instalación de los primeros SHIELD® ha sido ligeramente diferente, aunque este proceso sólo es necesario en la primera instalación ya que una vez instalado el primer sello pasivo el procedimiento de instalación normal no se ve afectado.

Durante la primera instalación de los sellos pasivos es importante asegurar que las superficies de cierre del SHIELD® están dentro de parámetros requeridos. Esto se realiza comprobando que las medidas diametrales y las superficies estén en un estado correcto.

Una vez verificadas las superficies de apoyo se comprueba que las características de los sellos pasivos sean los adecuados a las características de la bomba para asegurar una ac-

tuación correcta del SHIELD® en caso de necesidad.

Una vez se realizadas las anteriores comprobaciones se instala el inserto de forma estándar asegurando la correcta manipulación del SHIELD®, y se procede a montar el resto de elementos de forma habitual.

Finalmente, una vez completada la instalación de los sellos se efectúa el seguimiento de los parámetros de la bomba para comprobar y asegurar que la instalación del SHIELD® no ha afectado los parámetros de funcionamiento de la bomba cumpliendo así su función pasiva para evitar la pérdida de primario en caso de accidente severo.

IMPLEMENTACIÓN EN EL APS

La instalación del SHIELD® permite a la planta responder a un amplio espectro de iniciadores (SBO, pérdida de sistemas soportes comunes a la



Figura 6. Muestra Primer SHIELD® Shutdown Seal Ascó.



Figura 7. Muestra Primer SHIELD® Shutdown Seal Vandellós.

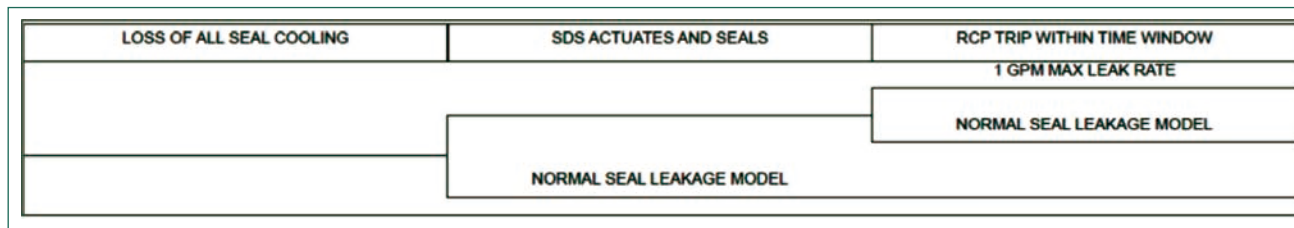


Figura 8. Modelo del APS (pérdida de refrigeración a los sellos, con SHIELD®).

inyección a sellos y barrera térmica de BRR) estando únicamente la turbobomba de agua de alimentación auxiliar disponible. Con ello, se incrementa la capacidad de mantener el inventario del refrigerante del reactor en sucesos tipo no-LOCA, permitiendo una mejor respuesta del grupo de operación, al concentrarse únicamente en el mantenimiento del sumidero de calor.

El modelo actual del APS que representa el comportamiento de los sellos de las BRRs es el denominado *revised WOG 2000 model* (WCAP-16141). Para dar crédito a la capacidad del SHIELD®, dicho modelo debe revisarse con el desarrollo de un simple árbol de sucesos (o árbol de fallos) para reflejar las características de los sellos pasivos (en la Figura adjunta se muestra un ejemplo típico de incorporación en el APS).

Si el SHIELD® no actúa o falla a mantener el sello formado (fallo del cabezera *SDS actuates and seals*), la planta evolucionará según el comportamiento inicial de los sellos activos (*revised WOG 2000 model*). La probabilidad de fallo del paquete SHIELD® se sitúa aproximadamente en un valor puntual de $1,25E-2$, significando una probabilidad de éxito de los sellos térmicos pasivos de parada del 98,75%.

En cualquier caso, a efectos de mantener la integridad del polímero del anillo, el grupo de operación deberá proceder al disparo previo

de las BRR (sólo en caso de no-SBO) para que el eje de la bomba esté detenido (o muy baja velocidad de rotación) en el momento de actuación del SHIELD®; caso contrario, la planta también evolucionará según el comportamiento de los sellos activos. Es por ello que, para el tipo de iniciadores no-SBO, resulta crítica la actuación en tiempo del operador para disparar las BRR. Este tiempo es función del modelo específico de bomba y del comportamiento previo (caudal de fugas del *leak-off*).

Por otra parte, en esta función se incluye también la posibilidad de que pueda excederse la temperatura de diseño del SHIELD® y, en consecuencia, se derive la pérdida de funcionalidad de los mismos. Para ello, el grupo de operación deberá asegurar que la temperatura de la rama fría no exceda los 299°C. Los procedimientos de operación de emergencia de la central deben contemplar estas maniobras, especialmente en las plantas con alineación asimétrica a los generadores de vapor (por ejemplo, C.N. Ascó).

Finalmente, hay que señalar que el SHIELD® está diseñado y probado para que una actuación inadvertida sea extremadamente improbable. En cualquier caso, aunque dicha actuación se produjese durante la operación de la planta, las pruebas realizadas (con el eje de la BRR rotando a plena velocidad) permiten afirmar que el daño en el SHIELD® estaría limi-

tado y no comportaría ningún tipo de impacto sobre el funcionamiento del paquete de los sellos ya instalados en las BRR.

CONCLUSIONES

La instalación de los SHIELD® ha significado la primera incorporación de dichos elementos en plantas europeas. Es, además, una muestra del compromiso de ANAV conjuntamente con Westinghouse en su afán de superación en Seguridad Nuclear.

La instalación del SHIELD® ha supuesto una reducción significativa en la Frecuencia de Daño al Núcleo (FDN) en las plantas de ANAV (aproximadamente una disminución del 27% en la FDN de C.N. Ascó II y del 52% en la FDN de C.N. de Vandellós II), evidenciando una mejora muy satisfactoria en la seguridad de las instalaciones al implicar una reducción del riesgo asociado en su funcionamiento.

Esta disminución en la FDN también puede suponer un beneficio significativo en sus aplicaciones más usuales o áreas con utilización del APS, entre las que se pueden destacar: NFPA-805, respuesta al SISC, márgenes del MSPI, potencial eliminación de la inyección a sellos y refrigeración de la barrera térmica como sistemas significativos de riesgo en la Regla de Mantenimiento, respuesta del Monitor de Riesgo, factibilidad para realizar mantenimiento *on line* (p. ej: generadores diesel). ■